

Diagnosis geomorfológica y gestión territorial litoral en el marco del proyecto LIFE-RENEIX

Agustí Rodríguez¹, Irene Estaún^{2,3}, Joan Solà², Mireia Comas²,
Pere Fraga² y Eva Cardona²

¹ Geoservei, Projectes i Gestió Ambiental, Maó

² Institut Menorquí d'Estudis, IME, Maó

³ Consell Insular de Menorca, Maó

RESUMEN

La zona comprendida entre las playas de Binimel·là y Cala Mica (Es Mercadal, Norte de Menorca) presenta unos excepcionales valores botánicos, ecológicos y geológicos. Estos valores naturales se han visto sometidos durante años a una gran amenaza de degradación relacionada especialmente con antiguos movimientos de tierras y la apertura incontrolada de accesos rodados. El proyecto LIFE+RENEIX trabajó en la restauración de las zonas degradadas, para alcanzar su restitución paisajística, mediante una cuidadosa cartografía de diagnóstico de puntos críticos del drenaje, de peligro geológico en taludes naturales y antrópicos y de la evolución temporal en relación con fenómenos erosivos.

Palabras clave: tipos de costa, gestión litoral, Menorca

ABSTRACT

The area between the beaches of Binimel·là and Cala Mica (Es Mercadal, Northern Menorca) has exceptional botanical, ecological and geological values. For many years, these natural values have suffered a great threat of degradation specially related to old landslides and the uncontrolled opening of roadways. The LIFE+RENEIX project worked in the restoration of degraded areas in order to achieve its landscape restitution, using a meticulous mapping of critical drainage points, geological hazards on natural and anthropic slopes and temporal evolution of erosive phenomena.

Keywords: coast type, coastal management, Menorca

1 | Introducción

Entre los años 2009 y 2014 el Consell Insular de Menorca ejecutó el proyecto LIFE Naturaleza LIFE+RENEIX [LIFE07NAT/E/000756] "*Restauración de hàbitats de especies prioritarias en la isla de Menorca*", con el objetivo principal de restaurar zonas afectadas por procesos severos de degradación, donde se localizan algunas de las comunidades vegetales más singulares y/o amenazadas de la isla, incluyendo especies de interés prioritario (como *Feméniasia balearica*), algunos endemismos vegetales u otras plantas consideradas muy raras por su distribución restringida.

Para alcanzar esta meta, fue necesaria la recuperación de los valores paisajísticos de las áreas objeto de actuación. El proyecto LIFE+RENEIX, centró su actividad en 4 zonas de la isla (El Pilar-Ets Alocs, Es Murtar, Pas d'en Revull y Binimel·là), que presentaban problemáticas comunes para la flora amenazada que sintéticamente se podrían resumir en: la degradación por procesos urbanísticos, la presencia de procesos erosivos activos, la sobrefrecuentación humana y la proliferación de accesos rodados incontrolados. Entre ellas destaca la zona comprendida entre las playas de Binimel·là y cala Mica (Macizo de Binimel·là), donde se concentraron una parte importante de las actuaciones proyectadas. El convencimiento por parte del equipo técnico del proyecto que el medio físico es un condicionante clave habitualmente poco tenido en cuenta al valorar y planificar actuaciones para la restauración paisajística y

ecol3gica de una zona, permiti3 la participaci3n de un equipo de ge3logos. Este trabaj3 en la caracterizaci3n de los rasgos geol3gicos y geomorfol3gicos del Macizo de Binimel·là para determinar y garantizar la viabilidad de las actuaciones a emprender con el objetivo de conseguir una recuperaci3n integral para restaurar la zona.

El 3rea que comprende el Macizo de Binimel·là se caracteriza por presentar unos valores bot3nicos y ecol3gicos con un elevado inter3s de conservaci3n conjuntamente con un excepcional valor patrimonial geol3gico, todos ellos sometidos durante muchos a3os a profundos procesos de degradaci3n. Los or3genes de esta situaci3n hay que buscarlos en diferentes factores antr3picos relacionados, inicialmente, con antiguos movimientos de tierras y la apertura de accesos rodados causados por las pretensiones de construir una urbanizaci3n tur3stica en los a3os setenta que no prosper3. Adem3s, en la 3ltima d3cada, esta degradaci3n se ha visto especialmente acelerada por la proliferaci3n de pr3cticas agresivas con veh3culos motorizados, as3 como tambi3n, aunque en menor medida, por un inter3s social creciente relacionado con un paraje espectacular de calas v3rgenes y su paisaje natural circundante. Lo que lleva asociado una elevada frecuentaci3n y el desarrollo de actividades econ3micas blandas como senderismo, paseos a caballo, cicloturismo o m3s intensas como excursi3nes en veh3culos 4x4 (Fig. 1).



Figura 1. Ejemplos de la alteraci3n del medio f3sico en el Macizo de Binimel·là; (a) C3rcavas, (b) inestabilidades en taludes antr3picos y (c) pr3cticas incontroladas con veh3culos motorizados.

Figure 1. Examples of land degradation at Binimel·là; (a) Rills and gullies; (b) slips and slidings; (c) environmental damage caused by vehicles.

2 | Valor y marco geológico

Menorca presenta una gran variabilidad paisajística que está condicionada fundamentalmente por sus características geológicas. La isla está constituida por dos comarcas geológicas muy diferentes (*Tramuntana* y *Migjorn*), separadas por una línea de fractura con orientación NO-SE que sigue más o menos la carretera principal que une las dos principales localidades (Maó y Ciutadella). Así, esta carretera actúa como límite entre los materiales preorogénicos, predominantemente siliciclásticos, de la región de *Tramuntana* (Paleozoico y Mesozoico) y los materiales postorogénicos carbonatados de la región de *Migjorn* (Mioceno).

Persisten dudas sobre la edad de las rocas que forman la serie de Binimel·là, ya que muchos de los fósiles que se encuentran en las rocas de la zona corresponden a organismos que fosilizaron durante el Devónico y posteriormente en el Carbonífero fueron resedimentados, sufriendo así varios ciclos de sedimentación. De este modo, las rocas que se encuentran en Binimel·là abarcan parte del Devónico hasta el comienzo del Carbonífero, un periodo de tiempo que en Menorca presenta numerosos interrogantes.

Las areniscas y la *llosella* (roca sedimentaria predominantemente arcillosa de aspecto pizarroso) del Paleozoico forman la serie geológica de Binimel·là junto con una sorprendente mezcla de numerosas litologías poco frecuentes en el conjunto de la comarca de *Tramuntana* (radiolarites, calizas con acumulaciones de restos del crinoideo *Balearocrinus breimeri* (Bourrouilh & Termier, 1972), lutitas rojas, blancas y negras, coladas de barro, nódulos fosfatados y rocas volcánicas intrusivas – cuarzoqueratofidos (Bourrouilh, 1973)– y efusivas (basaltos (Hermite, 1879)) (Figura 2). Una serie que se extiende en dirección N-S, con un notable carácter discontinuo y que se caracteriza por encontrarse muy deformada, formando espectaculares estructuras plegadas complejas como consecuencia de los intensos movimientos orogénicos

Así, la serie geológica de Binimel·là, se caracteriza por una gran variabilidad litológica, de difícil orden cronológico, donde los materiales fueron sedimentados en un área probablemente no lejana y posteriormente se vieron afectados por procesos de deslizamiento que los hicieron mezclar y transportar hasta la posición que ocupan actualmente. Esta serie ha sido interpretada por algunos autores (Bourrouilh, 1973; Rosell & Elizaga, 1989), como un nivel olistostrómico intercalado en la parte media de la serie carbonífera menorquina, donde se alternan materiales sedimentados en fondos abisales junto con otros interpretados como niveles de mares someros. Cabe destacar que estos materiales de edad paleozoica, en Binimel·là están cubiertos discordantemente por dunas fósiles del Cuaternario con espectaculares laminaciones cruzadas a gran escala (Fig. 2).

3 | Diagnósis geomorfológica y geodinámica

Una parte importante del paisaje que observamos lo conforma el modelado del relieve, la geomorfología. Las formas que observamos, si inicialmente obviamos la cubierta vegetal, son el resultado de cómo la geología ha dado respuesta a los principales procesos geodinámicos, de escorrentía superficial (con procesos de erosión, transporte y sedimentación), gravitacionales (con caídas de bloques, movi-

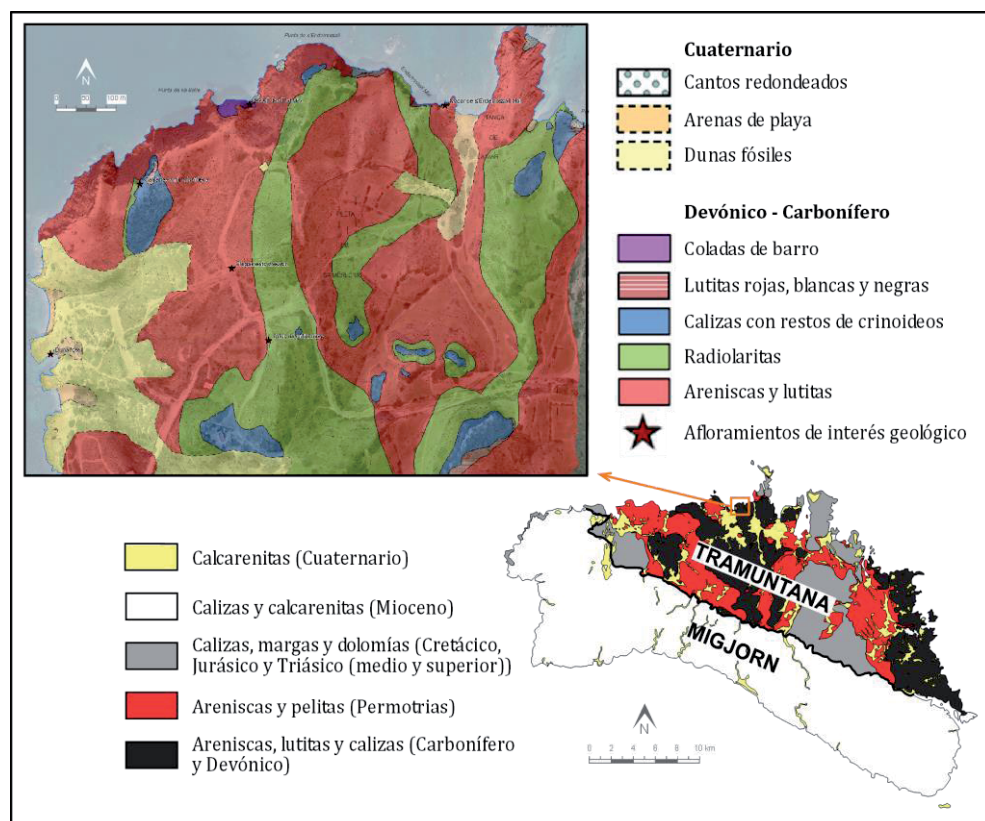


Figura 2. Situación geográfica y geológica simplificada del área de estudio.

Figure 2. Study site location and simplified geological map.

mientos planares, deslizamientos, etc.) y de la dinámica marina con la acumulación y la erosión de playas. Interpretar esta geomorfología nos lleva a entender los procesos geodinámicos naturales ocurridos en el ámbito de estudio de Macizo de Binimel·là. Detectar rasgos morfológicos anómalos o aspectos no previstos, como indicadores de algo, pone en alerta de procesos dinámicos naturales influenciados por el hombre. Así, identificar procesos geodinámicos alterados y caracterizar sus efectos es lo que permite decidir si es necesario actuar para devolver el proceso a su estado natural y es lo que permite proponer determinar las actuaciones a desarrollar.

Red de drenaje

La reconstrucción de la red de drenaje original, mediante el uso de las ortofotoimágenes más antiguas y la identificación de elementos etnológicos utilizados para su conducción, permiten obtener una imagen bastante precisa y cercana a la del equilibrio natural de la escorrentía. Así, se interpreta como red natural a la correspondiente al año 1956, año del que se disponen las fotografías aéreas más antiguas, dado que el efecto antrópico era mínimo e implicaba un equilibrio más próximo al natural. Aunque evidente, cuando se observan las canalizaciones de muros de piedra en seco que permitían la conducción del agua, se debe tener en cuenta que estas

canalizaciones de pared seca respetan en gran medida el curso natural del agua como lo demuestra su buen grado de definición.

La red de drenaje de la zona de estudio queda subdividida en dos unidades o cuencas de recepción principales. La primera ocupa la mitad de poniente del Macizo de Binimel·là y sus cursos fluviales desembocaban en las pequeñas playas que forman el margen este de la cala de Binimel·là, mientras que la segunda unidad comprende la mitad de levante del ámbito de estudio y por ella circulaba originariamente el torrente principal del macizo con desembocadura en el norte, en la playa conocida como caló de s'Enderrossall. Durante la ejecución del proyecto LIFE+RENEIX se comprobó que estas cuencas mostraban cambios considerables respecto al año 1956, como consecuencia de la apertura de viales que provocaron que la red de drenaje se tuviera que adaptar a un nuevo equilibrio altamente inestable (Fi. 3).

Los cursos fluviales se encontraban muy influenciados por la presencia de los viales de la urbanización fallida. La apertura de estos accesos rodados implicó la alteración de los trazados naturales de la red de drenaje, de su longitud y pendiente, además de la superficie de la cuenca, resultando la presencia de áreas donde se incre-

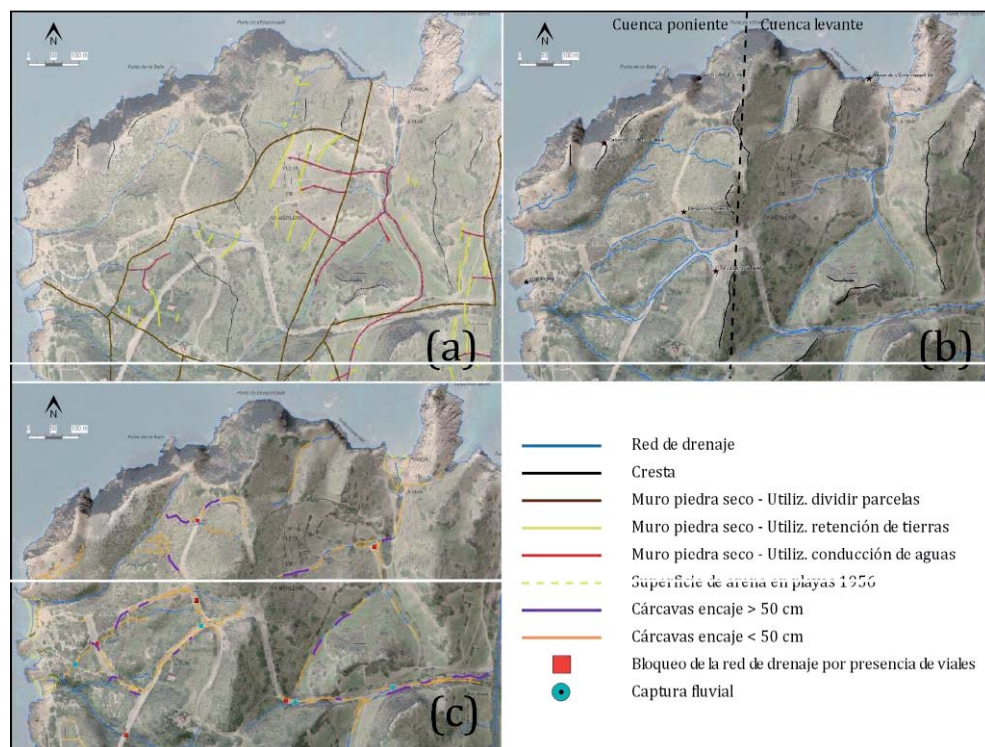


Figura 3. Consecuencias de la alteración de la red de drenaje en el Macizo de Binimel·là. (a) Geomorfología original superpuesta a la ortofoto-imagen actual; (b) Geomorfología previa a la intervención en el marco del LIFE+RENEIX; (c) Efectos de la red de drenaje inestable sobre el medio geológico.

Figure 3. Human impacts on the drainage network at Binimel·là. (a) Original network; (b) LIFE+RENEIX Project former landform; (c) Impacts on drainage network.

mentaba la capacidad erosiva del agua superficial por mayor capacidad de incisión lineal de los torrentes y que implicaba la formación de cárcavas. Estos procesos eran habituales principalmente en los viales construidos paralelamente a la red de drenaje natural, que a la práctica, provocaron una reducción del perfil longitudinal y un aumento de su pendiente, incrementando su capacidad erosiva. Por otro lado, la presencia de viales perpendiculares a los cursos superficiales provocaron la aparición de bloqueos de la red de drenaje, implicando la modificación de sus dinámicas sedimentarias e incrementando también los procesos erosivos que especialmente se traducían en importantes inestabilidades en los márgenes de los accesos rodados. Los bloqueos condujeron a que algunos torrentes aumentaran su área de influencia, originando unos procesos de captura fluvial que incrementaban la superficie de unas cuencas y a su vez anulaban completamente a otras. Unos procesos que se daban de manera incontrolada, provocando la aparición de numerosos flujos de agua en función de la disposición de los viales. Además, la alteración de la escorrentía superficial por la presencia de viales transversales implicó también la existencia de áreas donde disminuyó la llegada del sedimento terrígeno que contribuía al mantenimiento de pequeñas playas de arena como el caló de s'Enderrossall. La reducción del área de las cuencas fluviales, motivada preferentemente por varias capturas de los cursos fluviales en su cabecera, provocaron que una parte de la cuenca fuera desviada hacia otra, transformando su dinámica sedimentaria (Fig. 4).

Inestabilidades de origen natural y antrópico

La cartografía geomorfológica utilizada para identificar el peligro asociado a los escarpes naturales y antrópicos se centró en determinar todos aquellos elementos que permiten prever la susceptibilidad de generación de movimientos gravitacionales. Así, teniendo en cuenta el origen de estos movimientos se diferencian como generadores naturales de inestabilidades: los acantilados, los escarpes y las crestas, muchas veces seccionadas por la construcción de viales. Los taludes antrópicos, abiertos durante la construcción de los viales, se caracterizaron a partir de estaciones geomecánicas para poder determinar el factor de seguridad de los mismos.

La determinación de la susceptibilidad o potencial situación de riesgo del conjunto de fenómenos asociados a la existencia de escarpes naturales se llevó a cabo mediante una caracterización geológica de campo y un análisis de interpretación fotogeológica exhaustiva que permitieron, además de la elaboración de una cartografía geomorfológica de detalle, la detección y caracterización del conjunto de fenómenos asociados a los escarpes naturales, los indicios de actividad geomorfológica y, posteriormente, a la caracterización de la magnitud y frecuencia de los fenómenos e indicios identificados.

La magnitud de los fenómenos e indicios se determinó en base a los volúmenes de salida y a la altura del escarpe. Los volúmenes de salida se estimaron a partir de la litología de los materiales que conforman los escarpes, así como la estratificación y el grado de alteración asociado. En este sentido, se consideró la dimensión mínima (1.000 cm^3) susceptible de desprenderse en función de las diversas litologías identificadas y su grado de alteración. Por otra parte, la frecuencia de un fenómeno viene definida en relación a su periodo de retorno. No obstante, a la escala de trabajo muy rara vez se dispone de datos suficientes para determinar los periodos de retorno por una ladera, por lo que se llevó a cabo una estimación de la frecuencia de salida en

función de la abundancia de indicios y, por tanto de su actividad aparente. Finalmente, la peligrosidad se obtuvo del cruce de los datos de magnitud y frecuencia (Tabla 1).

La representación geométrica del plano de cada talud antrópico y las discontinuidades (diaclasado y estratificación), en una proyección semiesférica equiareal de Schmidt, permite obtener las inestabilidades susceptibles a producirse: roturas planares (inestabilidades producidas a través de una única superficie plana) y roturas en forma de cuña (inestabilidades producidas a través de dos planos de discontinuidad dispuestos oblicuamente a la superficie del talud). Una rotura planar podrá darse cuando exista un plano de discontinuidad de dirección similar a la del

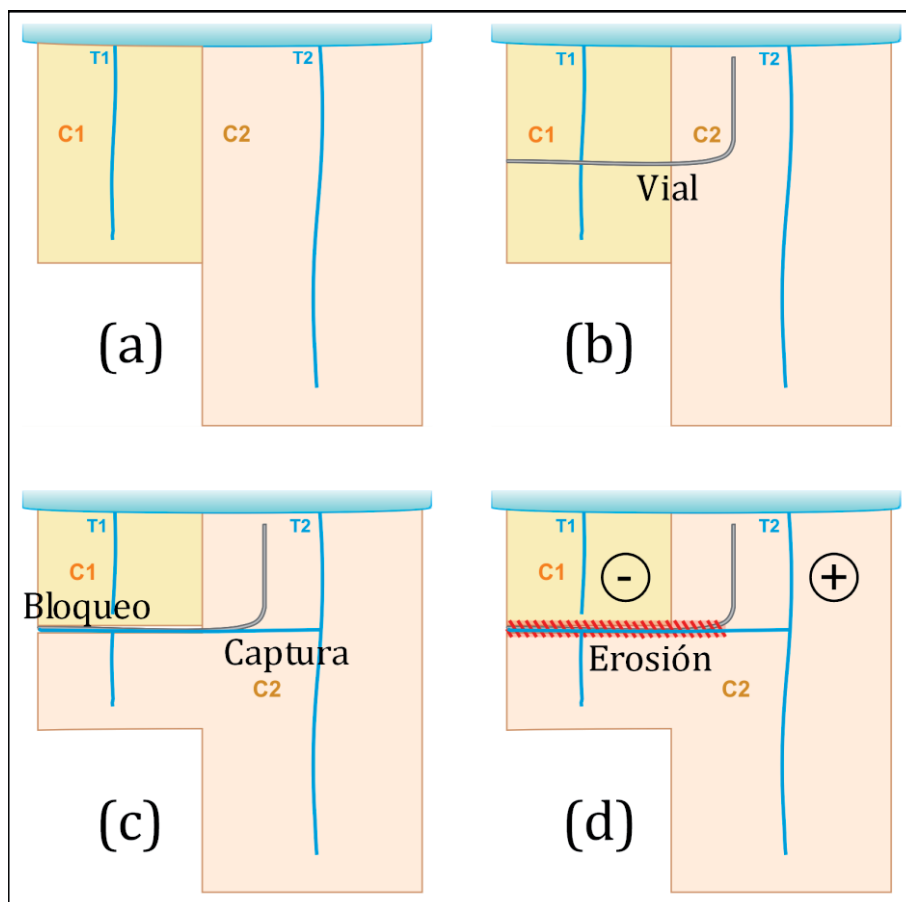


Figura 4. Procesos geodinámicos resultantes de la construcción de los viales de la fallida urbanización de Binimel·là; (a) Equilibrio natural de las redes de drenaje T1 y T2 en dos cuencas supuestas C1 y C2, (b) Construcción de viales, (c) Bloqueo de T1 y desvío (captura fluvial) de su escorrentía hacia C2 por efecto del vial e incremento del área de influencia de C2, (d) Aparición de intensos fenómenos erosivos a lo largo de la nueva red y variaciones en la llegada de sedimento, disminuyendo en C1 y aumentando en C2.

Figure 4. Road and path impacts on geodynamic processes related to the Binimel·la urbanization development. (a) Natural equilibrium profile T1 and T2 at neighbouring basins C1 and C2; (b) road and path construction; (c) Disruption of T1 and fluvial capture towards C2; (d) Erosive phenomena related to the new network and changes on sediment supply at C1 and C2.

Magnitud	Altura escarpe			Actividad de salida (Frecuencia)	
Volumen de salida estimado	<10 m	10-20 m	>20 m	Baja	Sin indicios
<1000 cm ³	Baja	Mediana	Alta	Mediana	Presencia de bloques caídos aislados y dispersos al pie del escarpe o ladera abajo
>1000 cm ³	Mediana	Alta	Alta	Alta	Presencia de áreas de bloques caídos al pie del escarpe o ladera abajo

Matriz de peligrosidad		Actividad de salida (Frecuencia)		
		Baja	Mediana	Alta
Magnitud	Baja	Peligrosidad baja	Peligrosidad baja	Peligrosidad baja
	Mediana	Peligrosidad baja	Peligros. mediana	Peligros. mediana
	Alta	Peligros. mediana	Peligrosidad alta	Peligrosidad alta

Tabla 1. Magnitud de desprendimientos en roca dura en base a los volúmenes de salida y a la altura del escarpe y frecuencia de los fenómenos en función de la abundancia de indicios y matriz de peligrosidad resultante.

Table 1. Slope processes risk and magnitude according to the volume of waste materials, Cliff height and triggering mechanism.

talud y buzamiento menor, mientras que una rotura en forma de cuña se identificar  cuando existan dos familias de discontinuidad de direcciones oblicuas respecto al plano representativo del talud. El c culo del factor de seguridad para cada inestabilidad identificada geométricamente, permite obtener las roturas inestables y, por tanto, aquellos que pueden llegar a producirse. Este análisis numérico se obtiene con el método de ábacos de Hoek & Bray, 1977 y permitió la elaboración de un mapa de estabilidad asociado a los escarpes antrópicos donde se diferenciaron los taludes estables e inestables.

Evolución histórica

Los principales procesos erosivos y sedimentarios en el ámbito de estudio se vieron influenciados por la alteración de la red de drenaje original mediante la construcción de los viales. Sin embargo, a partir de una evolución temporal de frecuentación humana creciente, principalmente motorizada en viales existentes y fuera pista, se propiciaron y/o incrementaron los procesos erosivos del suelo en áreas de torrente y en laderas. Esta evolución de la alteración del medio físico vinculada a un incremento de la frecuentación, pudo ser estudiada mediante el análisis detallado de las series de fotografía  erea disponibles. En la Fig. 5 se han representado los cambios más significativos sobre el mapa topográfico de la zona para facilitar su visualización. La ortofotoimagen del vuelo de 1988 permite detectar variaciones respecto al medio físico original (establecido a partir de la ortofotoimagen de 1956)

asociadas especialmente a la construcción de los accesos rodados. Se detectan escarpes con indicios de actividad, la aparición de cárcavas, reducciones areales de arena en algunas playas y especialmente procesos de captura fluvial, de los cuales el más significativo provocó el desvío de la escorrentía que originariamente se dirigía a la playa del caló de s'Enderrossall hacia cala Mica.

Las fotografías aéreas siguientes, no muestran cambios remarcables en la formación de nuevas cárcavas o en la aparición de nuevas inestabilidades en los escarpes. En cambio, en el año 2002 se detecta un cambio sustancial respecto a las anteriores. La intensa presión de viales, abiertos para desarrollar prácticas con vehículos motorizados, para alcanzar zonas incontroladas de aparcamiento más cercanas a las playas o acortar su camino de acceso junto a la aparición de senderos producto del paso descontrolado de peatones, se traducen especialmente en un considerable incremento de cárcavas. En 2010 se produce un espectacular incremento de la erosión, tanto por parte del drenaje, como para el asociado al tráfico rodado incontrolado.

La erosión asociada a la red de drenaje en el macizo de Binimel·là supuso la alteración y especialmente la denudación de los materiales de la zona. Es decir, fundamentalmente se produjo un proceso de barrido en los materiales producto de la meteorización (suelos y recubrimientos superficiales), pero también y fundamentalmente, de aquellos antrópicos utilizados como relleno en la construcción de los

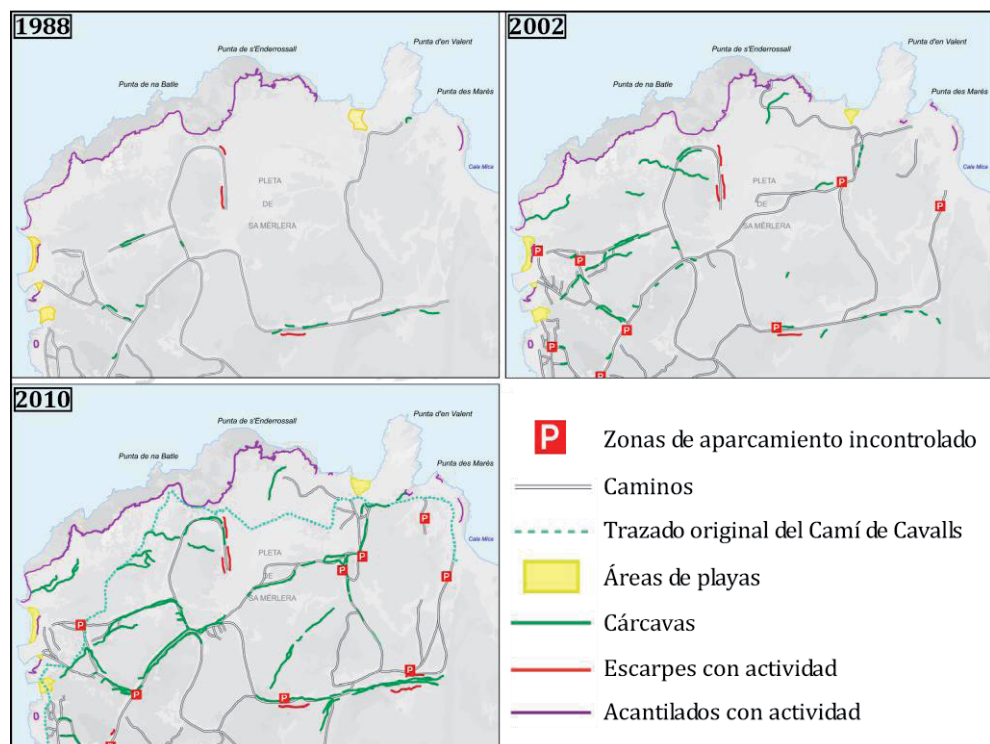


Figura 5. Evolución histórica representativa de los principales efectos de degradación en la zona de estudio motivados fundamentalmente por la actividad antrópica.

Figure 5. Land degradation history associated to the human impact at the study site. .

de los viales. Cabe considerar que estos procesos erosivos no se daban de la misma forma en todo el ámbito de estudio. En la mitad de poniente, la erosión se producía especialmente a lo largo de los viales, formando numerosas cárcavas con incisiones inferiores a los 50 cm que puntualmente alcanzan órdenes métricos en los lugares de fuerte desnivel. Al norte de esta zona, se daban procesos de erosión remontante en varios puntos con poca o nula cuenca de recepción aguas arriba. En estos lugares, se asoció el incremento de frecuentación a lo largo del Camí de Cavalls, que a su vez coincidía con el trazado del curso de un torrente, a un proceso de erosión, donde el curso fluvial se veía sometido a una mayor pendiente respecto a la parte superior de la cuenca de captación, favoreciendo la propagación de la incisión ladera arriba. En la mitad de levante los procesos de captura del torrente se traducían en términos de erosión, en un completo barrido de suelos y relleno antrópico a lo largo del vial principal de la zona, llegando a generar profundas incisiones que superaban los 3 metros de profundidad. Esta intensa erosión incidía en las inestabilidades de los taludes detectadas a lo largo de los accesos rodados.

4 | Actuaciones desarrolladas

La superposición de preexistencias y de efectos naturales y antrópicos sobre la geodinámica en el sector permiten proponer acciones basadas en criterios geológicos y geomorfológicos, siempre siguiendo una secuencia lógica o de prioridad que las hace efectivas desde el primer momento, es decir, no se llevará a cabo un relleno de cárcavas si antes no se han resuelto ordenadamente las causas que han motivado su generación.

Recuperación de la red de drenaje

El control de la red de drenaje es fundamental para lograr el éxito del proyecto, por lo que se ejecutaron numerosas acciones para frenar procesos erosivos y recuperar la aportación sedimentaria continental de playas que la hubieran perdido, siempre con el fin de intentar recuperar la red de drenaje original. La principal actuación del LIFE+RENEIX en Binimel·là consistió en la construcción de un puente que permitió recuperar el curso natural de un torrente en la parte de poniente del sector, que había sido bloqueado por la construcción de un vial de la urbanización. A su vez, este bloqueo provocó que en este punto se concentrara un grave peligro por deslizamiento del propio vial, que fue corregido mediante la construcción de esta infraestructura. Otros bloqueos y procesos de captura fluvial, relativamente abundantes en todo el Macizo por la existencia de la extensa red de viales, fueron corregidos mediante excavaciones que permitieran el paso libre de la red de drenaje según su trazado original y reconducir así el proceso de presa.

Además, el restablecimiento de la red de drenaje requirió la excavación de cunetas junto a caminos para la reconducción de la escorrentía, incluyendo puntos de descarga hacia los principales torrentes (Figura 6a), para favorecer la incisión de la red de drenaje y evitar el curso descontrolado de agua a lo largo de viales u otros puntos donde no quedaba definida. Puntualmente se optó por estriar el terreno para facilitar la adaptación de la red de drenaje en la recuperación de su curso. También se instalaron canales de drenaje bajo muros de piedra, se construyeron nuevos muros que

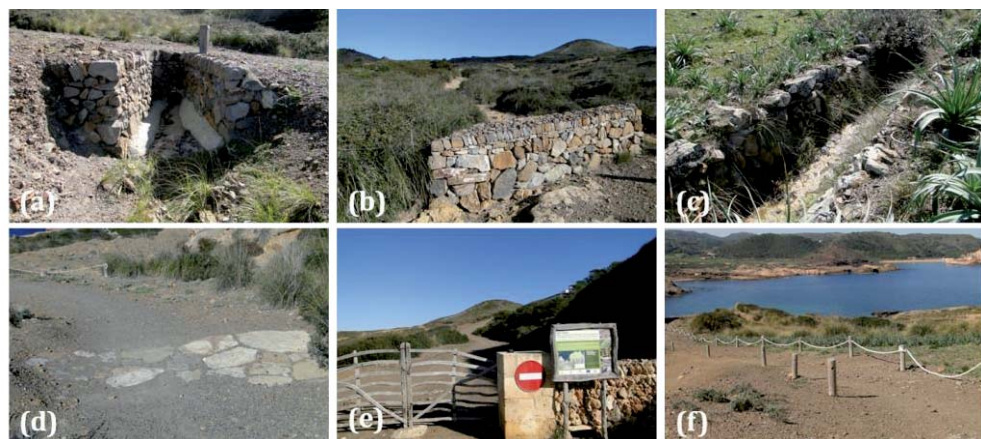


Figura 6. Ejemplos de actuaciones desarrolladas en el Macizo de Binimel·là; (a) puntos de desguace de la escorrentía, (b) muros de reconducción de la red de drenaje, (c) recuperación de canales tradicionales, (d) losas para el mantenimiento de caminos, (e) carcelería y bloqueo de caminos, (f) vallados blandos.

Figure 6. Actions implemented at Binimel·là: (a) runoff caption; (b) walls as runoff interceptors; (c) channel recovery; (d) path maintainement; (e) barriers and acces limitations; (f) soft barriers.

actúan como barrera para reconducir la escorrentía (Fig. 6b) y limpiado de vegetación y sedimentos canalizaciones de muros de piedra en seco utilizadas tradicionalmente para el control de la red (Fig. 6c). En aquellos puntos donde no se pudo evitar el paso del agua superficial por algún vial a mantener, se instalaron losas para evitar la erosión del camino (Fig. 6d).

Las cárcavas generadas por los efectos de una red de drenaje descontrolada, fueron rellenadas con el material excavado en las acciones citadas anteriormente, pero únicamente en aquellos caminos que se decidió mantener y restaurar. Estas actuaciones se desarrollaron con maquinaria ligera o manualmente en aquellas zonas de elevado valor botánico. Para frenar la erosión producida en algunos viales y favorecer el desarrollo de comunidades vegetales, también se construyeron muros con piedra en seco con el fin de retención de tierras en laderas, tal y como se hacía tradicionalmente en la zona.

Peligro geológico

También se trabajó en la corrección de los taludes antrópicos con el triple objetivo de minimizar el riesgo geológico, disponer de material adecuado para la mejora ambiental de caminos y reducir el impacto visual y paisajístico de los bloques caídos o inestables que ofrecían una sensación caótica al entorno. Así, por un lado se procedió a sanear y reperfilar algunos taludes para dotarlos de un ángulo estable y por el otro, la retirada del material caído en taludes inestables fue utilizada para reducir la anchura de amplios caminos de acceso que se debían mantener. Estos materiales con los que se redujo la anchura de los viales fueron únicamente depositados en tramos de camino donde afloran las mismas litologías con el fin de minimizar el impacto paisajístico. En aquellas zonas, alejadas de los caminos debidamente señalizados y con riesgo de desprendimientos, no se procedió a reperfilar los taludes inestables pero se advierte a los usuarios, mediante un cartel informativo general del proyecto

LIFE+RENEIX, del peligro geológico asociado a inestabilidades en escarpes y acantilados (Fig. 6e). Por su parte, la utilidad de disponer de un mapa de peligro es directa al valorar los usos y frecuentación antrópica y permitió proponer la modificación de senderos (como ocurrió, por ejemplo, en un tramo del Camí de Cavalls), y también para valorar futuras acciones

Ordenación del uso público

La elevada y desordenada frecuentación a través de caminos, senderos y especialmente viales abiertos, es otro de los aspectos que se tuvieron en cuenta al proponer modificaciones y medidas de actuación. Por una parte, se instalaron vallados blandos y temporales para evitar el paso de peatones (Fig. 6f), con el objetivo principal de favorecer la desaparición de caminos mediante la revegetación con especies autóctonas de rápido crecimiento y por otra, se construyeron muros de piedra en seco, con pasos de fauna asociados, para minimizar el paso de peatones en áreas más sensibles, pero especialmente para evitar el acceso de vehículos motorizados (Fig. 6e). Las tareas de revegetación fueron acompañadas previamente de la descompactación del terreno.

Estos vallados temporales y muros han permitido encauzar a los visitantes en un nuevo trazado del Camí de Cavalls, que fue modificado para lograr una frecuentación más ordenada del mismo. El trazado original del histórico camino fue valorado desde el punto de vista de riesgos geológicos, pero también desde el punto de vista de efectos de erosión del suelo, al haberse convertido en los últimos años en un trazado con un mayor potencial erosivo o un trazado propiciador de fenómenos desencadenantes de erosión remontante en áreas relativamente alejadas de su eje. Además, el valor de los hábitats y la vegetación, criterio prioritario a la hora de ejecutar actuaciones, también recomendaban el abandono de algunos tramos de este trazado original del Camí de Cavalls.

Tal y como ya se ha indicado, el uso de estructuras tradicionales de piedra en seco fue muy recurrente en la zona, donde además de ir destinadas a la conducción de agua, fueron utilizadas como divisorias de parcelas, para regular el ganado o para la retención de tierras en laderas. Como consecuencia de la construcción de los viales de la urbanización, muchas de estas estructuras desaparecieron, por lo que una actuación habitual en la ejecución de todo el proyecto se centró en su recuperación en sus diferentes usos tradicionales, pero también actuales como la regulación del uso público. Estas actuaciones permiten, además de la conservación del paisaje, a contribuir al mantenimiento del patrimonio etnológico, así como el fomento de los oficios artesanales.

Patrimonio geológico, divulgación y sensibilización social

El elevado valor patrimonial de la geología del macizo de Binimel·là se conoce desde tiempo atrás. No obstante, el trabajo geológico detallado que se efectuó con motivo del proyecto terminó permitiendo disponer de una selección de puntos/áreas de especial interés, sobre todo por la excepcionalidad de unos afloramientos caracterizados por la espectacularidad de las formas y la calidad y limpieza de muchos de ellos, que ponen de manifiesto la composición geológica insólita del área y su necesidad de protección (Fig. 7). La caracterización de estos afloramientos en el marco del LIFE+RENEIX ha sido uno de los factores clave que ha llevado al Consell In-



Figura 7. Ejemplos del valor patrimonial geológico del área de estudio.

Figure 7. Examples of the geological heritage at the study site.

sular de Menorca a crear un proyecto en torno al aprovechamiento y conservación de la geodiversidad, con el fin de compatibilizar el desarrollo local con la puesta en valor y conservación del patrimonio geológico menorquín mediante la figura de Reserva de la Biosfera (Rodríguez, *et al.*, 2015).

Por otro lado, cabe destacar el esfuerzo del proyecto LIFE+RENEIX para divulgar los resultados obtenidos y sensibilizar a la población sobre los valores naturales de las zonas objeto de actuación, especialmente teniendo en cuenta que el origen de la degradación de estas zonas es en gran parte antrópico y que es imprescindible un cierto grado de concienciación social si se quiere que los logros conseguidos perduren en el tiempo. Las actividades de divulgación y sensibilización social fueron muchas y diversas. Entre ellas destaca la publicación de una guía de flora de Menorca (Fraga i Arguimbau, *et al.*, 2014), con itinerarios interpretativos también disponibles en un visualizador cartográfico web y móvil (IDE MENORCA, cartografia.cime.es) o la celebración de un simposio sobre experiencias de restauración de hábitats y conservación de la biodiversidad (Ciutadella, del 28 al 30 de mayo de 2014). También se debe incidir en la activación de una web (<http://lifereneix.cime.es>), la edición de un DVD del proyecto, numerosas publicaciones de carácter científico y divulgativo, la organización de jornadas de voluntariado para implicar a los ciudadanos en las tareas de recuperación, la instalación de paneles informativos o la sensibilización dirigida a colectivos como practicantes de deportes en el medio natural o empresas de turismo activo.

5 | Conclusiones

La geomorfología es un reflejo de cómo el medio físico ha soportado el paso del tiempo geológico y los efectos modeladores del clima alcanzando un equilibrio dinámico concreto en la forma como se produce la escorrentía superficial. En el

Macizo de Binimel·là, la apertura de viales rompió este equilibrio, provocando la alteración de algunos cursos superficiales con efectos contrapuestos que se han manifestado a lo largo de décadas.

A partir de una cuidadosa cartografía de diagnóstico de puntos críticos del drenaje, de peligro geológico en taludes naturales y de estabilidad en taludes antrópicos y de la evolución temporal en relación a fenómenos erosivos, se propusieron y ejecutaron una serie de actuaciones basadas en criterios geológicos y geomorfológicos, que permitieron llevar a cabo acciones de conservación *in situ* de especies de interés prioritario. Estas actuaciones se encaminaron especialmente a controlar los procesos erosivos y sedimentarios atendiendo a los orígenes que motivaron su alteración, a la regulación de la frecuentación humana y paso incontrolado de vehículos, a la corrección de taludes antrópicos y a la resiembra con especies producidas en viveros locales a partir de semillas recogidas en la misma zona.

De este modo, el proyecto LIFE+RENEIX trabajó en la restauración de la geomorfología original del Macizo de Binimel·là siguiendo el fin principal de recuperar hábitats de interés comunitario y especies endémicas y singulares del área. Hasta el momento, cuatro años más tarde de la ejecución de las intervenciones, se ha conseguido una ordenación del uso público, se puede confirmar que los procesos erosivos han sido controlados, así como la red de drenaje original. Se han recuperado morfologías y restaurado zonas de desmonte y lentamente han ido desapareciendo los primeros viales que se pretendía eliminar. Todo ello ha permitido avanzar hacia la mejora paisajística de la zona. Aún así, deberán pasar años para valorar definitivamente la conveniencia de las actuaciones efectuadas.

Bibliografía

- Bourrouilh, R. y Termier, G. (1972): *Balearocrinus breimeri*. Crinoïde nouveau de Viséen Supérieur de Minorque (Baléares). *Annales de la Société Géologique du Nord*, 93: 225-232.
- Bourrouilh, R. (1973): *Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares). La terminasion Nord-orientale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale*. Trav. Lab. Géol. Méd. CNRS et Dep. Géol. Struct. Université de Paris. 822 p.
- Hermite, H. (1879): *Études géologiques sur les îles Baléares. Première Partie: Majorque et Minorque*. Pichon et Savy, Paris. 362 p.
- Fraga, P, Arguimbau, P., Estaún, I., Comas, M. y Cardona, E. (2014): *Plantes de Menorca*. Consell Insular de Menorca y Institut Menorquí d'Estudis, Menorca. 336 p.
- Hoek, E. y Bray J.W., (1977): *Rock slope engineering*. Institute of Mining and Metallurgical engineering, London. 402 p.
- Rodríguez, A., de Pablo, F., Marí, S., Solà, J., Joaneda J. y Orfila, J.L. (2015): Valorización de la geodiversidad en el marco de la Reserva de la Biosfera de Menorca. En: Hilario, A., Mendia, M., Monge-Ganuzas, M., Fernández, E., Vegas J. y Belmonte A. (eds.), *Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos*. Cuadernos del Museo Geominero. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 18: 293-298.
- Rosell, J. y Elízaga, E. (1989): Evolución tectosedimentaria del Paleozoico de la isla de Menorca. *Boletín Geológico y Minero*, 100(2): 193-204.